

ДОСЛІДЖЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ПЛОСКОГО ЕЛЕКТРОЄМНІСНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА В РАМКАХ ЗАДАЧ ЦИВІЛЬНОГО РОЗМІНУВАННЯ

Овчарук С.А., Баженов В.Г.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Анотація. У статті розглянуто результати дослідження залежності чутливості планарного (плоского) електроємнісного перетворювача з електродами прямокутної форми від відстані між електродами та глибини залягання об’єкта, що підлягає визначенню. Дослідження проводилось шляхом комп’ютерного моделювання.

Розглянуті результати складають окрему частину дослідження потенційних можливостей застосування електроємнісного методу неруйнівного контролю в рамках задач цивільного розмінування, а саме для детектування протипіхотних мін з малим або відсутнім вмістом металу у приповерхневому шарі ґрунту.

Вступ. На сьогоднішній день є актуальним питання швидкого, безпечного та ефективного розмінування територій від наслідків бойових дій. Основними методами для вирішення цього питання є застосування металошукачів та георадарів (англ. GPR - Ground Penetrating Radar)[1], [2]. Для виявлення мін з малим або відсутнім вмістом металу застосування металошукачів є неефективним або неможливим. Тому для таких типів мін основним засобом детектування залишається георадар, який в свою чергу також має ряд недоліків та обмежень [1-3], що знижують достовірність сканування та підвищують ризики, пов’язані із здоров’ям та життям людей, тому знаходження допоміжних чи альтернативних методів для цієї задачі є актуальним. Як зазначалося у попередніх дослідженнях [3-5], таким методом є електроємнісний метод.

Моделювання. З метою забезпечення високої чутливості перетворювача для різних значень глибини залягання міни було проведено ряд моделювань для визначення ефективної відстані між електродами. Моделювання проводились у програмному середовищі COMSOL Multiphysics, модуль AC/DC. Перетворювач зображено на рис.1., розміри електродів складають 3х4 см.

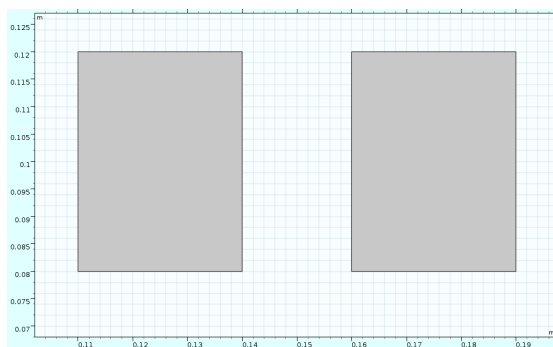


Рис. 1. Геометричні розміри та вигляд перетворювача

Об’єкт, що відповідає міні, є циліндр діаметром 80 мм та висотою 30 мм. Розміри та форма були підбрані у відповідність до розмірів реальних об’єктів - протипіхотних мін з мінімальним вмістом металу (наприклад РМА-3 111х40 мм, VS-MK2 90х32 мм [6]).

Моделювання проводились для значень глибини залягання циліндра: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5, 3 і 4 см, відносна діелектрична стала середовища (ґрунту), в якому знаходиться циліндр, прийнято як $\epsilon=5$ (що відповідає ґрунту з об’ємним коефіцієнтом вологості

близько 10% [7]), матеріалу тіла самого циліндра $\epsilon=2.5$ (поліетилен). Для середовища в якому розташовано перетворювач (повітря) $\epsilon=1$.

Відстань від перетворювача до поверхні ґрунту - 0 см, тобто перетворювач розташовано на поверхні. Загальні фізичні розміри моделі складають 30x22x20см. Геометрія моделі зображена на рис.11. Шар матеріалу, що відповідає шару ґрунту, має висоту 10 см, шар матеріалу, що відповідає шару повітря, також має висоту 10 см. По периметру геометрії моделі додано шар “Infinite element domain”, товщиною 1 см, що моделює нескінченний простір. Перетворювач розміщено по центру моделі.

Математична модель розраховувалась методом кінцевих елементів (тетраедрів), мінімальний розмір елемента рівний 0,1 мм, максимальний – 20 мм.

Результати. За результатами моделювання було побудовано графік залежностей ємності перетворювача від відстані між електродами за різних глибин залягання циліндра, що відповідає міні, зображений на рис.2. Для порівняння також наведено графік залежності без наявності міні під перетворювачем.

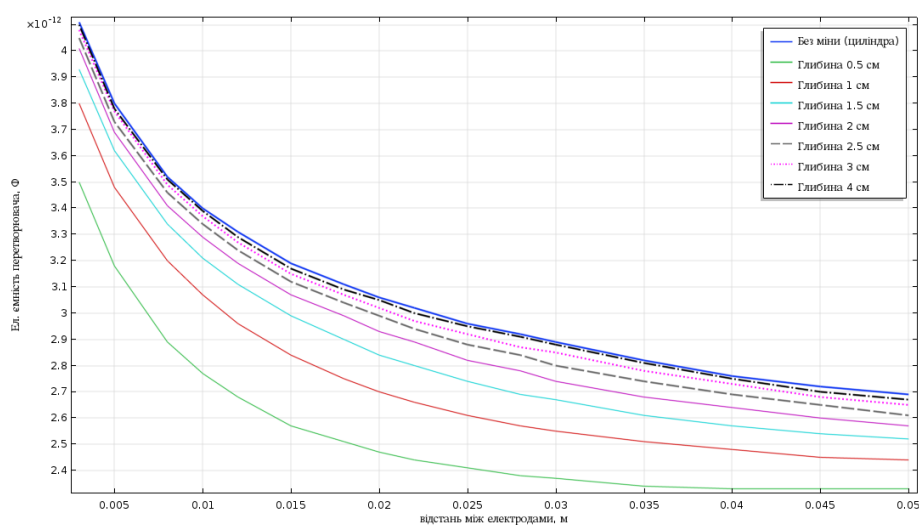


Рис. 2. Графік залежностей ємності перетворювача від відстані між електродами за різних глибин залягання циліндра, за результатами моделювання

Для більшої інформативності результатів також було побудовано графік відносної зміни ємності перетворювача, зображений на рис. 3.

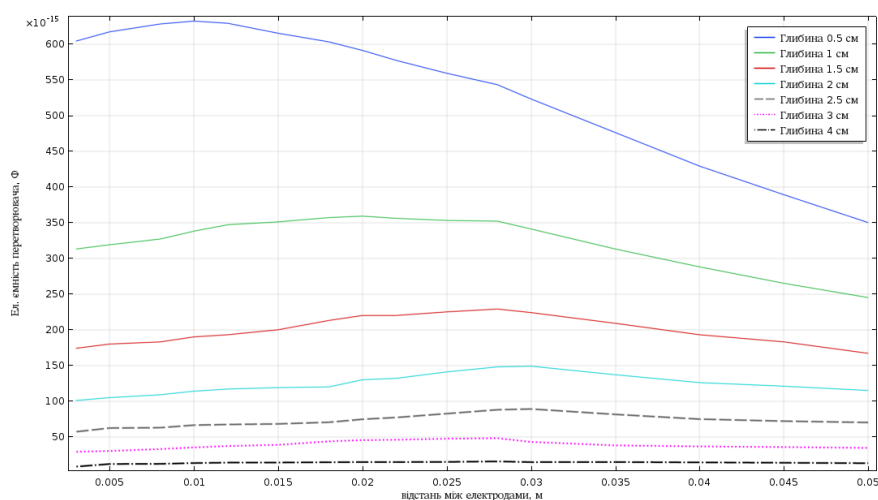


Рис. 2. Графік відносної зміни ємності перетворювача в залежності від відстані між електродами за різних глибин залягання циліндра, за результатами моделювання

Висновки. Проведені моделювання дали змогу оцінити відносну величину зміни ємності в залежності від глибини залягання міни, та від відстані між електродами перетворювача.

Результати показують, що для глибин залягання міни від 1 см найбільш ефективна величина відстані між електродами даного перетворювача лежить у межах від 2 до 3,5 см. Також з графіків видно, що вже на глибині залягання міни у 4 см зміна ємності перетворювача наближається до нуля, що практично визначає межу чутливості перетворювача такого типу та розмірів.

Побудовані графіки залежностей дають змогу передбачити більш ефективну конструкцію перетворювача, в тому числі з комбінацією електродів кількістю більшою ніж 2, для підвищення чутливості на різних глибинах залягання міни. Також графіки дають змогу розрахувати орієнтовні параметри схеми вимірювання даним перетворювачем.

Література

1. Cardona, L., Jimenez, J., Vanegas, N., (2013). *Landmine Detection Technologies to Face the Demining Problem in Antioquia*, Dyna, vol. 81, cc. 115–125.
2. Tesfamariam G., Mali D., (2012). *GPR Technologies for Landmine Detection*, International Journal of Computing Science and Communication Technologies, VOL.5 NO.1, pp. 768-774.
3. Овчарук С.А., Баженов В.Г. (2019). Порівняння чутливості моделей звичайних та диференціальних електроємнісних перетворювачів в рамках задач цивільного розмінування, Журнал Технічна діагностика і неруйнівний контроль, 2, стор.30-36.
4. Tholin-Chittenden, C., Soleimani, M. (Sept. 2016). *Planar Array ECT Sensor Design Optimisation*, Materials of 8th World Congress on Industrial Process Tomography, At Iguassu Falls, Brazil.
5. Tholin-Chittenden, C., Soleimani, M. (2017). *Planar Array Capacitive Imaging Sensor Design Optimisation*, IEEE Sensors Journal, 99, 1558-1748.
6. Грына авторів (2002). *Project Mimeva, Study of Generic Mine-Like Objects for R&D in Systems for Humanitarian Demining – Final Report*. Ispra.
7. Topp, G.C., J.L. Davis and A.P. Annan (1980). *Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines*, Water Resources Research, 16, 574-582.